

本书由2015年北京市教育委员会重大科技计划项目资助出版

三维曲面 彩色喷绘 技术

程光耀 蒋小珊 著
肖军杰 张 睿

SANWEI QUMIAN
CAISE PENHUI

文化发展出版社
Cultural Development Press

本书由2015年北京市教育委员会重大科技计划项目资助出版

三维曲面 彩色喷绘 技术

程光耀 蒋小珊 著
肖军杰 张 睿



SANWEI QUMIAN
CAISE PENHUI
JISHU



文化发展出版社
Cultural Development Press

内容摘要

本书主要有十六章，分别介绍了：三维喷绘系统总体结构、面向曲面喷墨运动控制系统的设计、基于PMAC多轴运动控制系统硬件的实现、基于PMAC运动控制系统软件开发、基于USB运动控制系统研究、喷墨系统研究与设计、压电喷射机理研究、压电喷墨过程数值模拟分析、压电喷墨供墨系统设计、墨滴视觉检测原理与技术、基于背景减除的运动目标检测算法、图像分割技术、系统调试及实验以及相关的结论与展望。

本书通过研究三维曲面喷绘系统的运动控制、供墨喷墨控制、负压控制和喷墨视觉检测等，解决了产品表面数字化彩喷的技术难题，实现了3D创意产品“所想所见即所得”的个性化定制服务，为彩色文化创意产品由最初创意灵感感到创意设计乃至最终产品成型提供一体化快速实现新方法。

本书内容丰富，资料翔实，分析全面深入，对于相关行业技术人员具有很高的参考价值。本书适合相关行业从业人员、大专院校师生以及相关咨询和研究机构参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

三维曲面彩色喷绘技术/程光耀等著. —北京:文化发展出版社, 2018.5

ISBN 978-7-5142-2219-7

I. ①三… II. ①程… III. ①三维—喷绘—系统设计 IV. ①TP334.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第079350号

三维曲面彩色喷绘技术

程光耀 蒋小珊 肖军杰 张 睿 © 著

责任编辑：张宇华

责任校对：岳智勇

责任印制：邓辉明

责任设计：侯 铮

出版发行：文化发展出版社（北京市翠微路2号 邮编：100036）

网 址：www.wenhua fazhan.com www.keyin.cn www.printhome.com

经 销：各地新华书店

印 刷：北京建宏印刷有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16

字 数：237千字

印 张：11.25

印 次：2018年7月第1版 2018年7月第1次印刷

定 价：89.00元

I S B N：978-7-5142-2219-7

◆ 如发现印装质量问题请与我社发行部联系 发行部电话：010-88275710

前言

随着文化产业的蓬勃发展和人民生活水平的提高,承载功能和美观外形要求的创意产品迅猛增加,创意产品大多呈现曲面外形和彩色外观。印刷作为文化创意产业的重要组成部分,在印刷业“十二五”规划中提出“提高核心技术的自主创新能力,要大力发展数字印刷和印刷数字化”;印刷包装在文化创意与高新科技融合发展方面有潜在的新型创意产品市场。本书通过研究三维曲面喷绘系统的运动控制、供墨控制、喷墨控制、负压控制和喷墨视觉检测等,解决了产品表面数字化彩喷的技术难题,实现了3D创意产品“所想所见即所得”的个性化定制服务,为彩色文化创意产品由最初创意灵感到创作设计乃至最终产品成形提供了一体化快速实现新方法。

目前,3D打印是国内外现代制造业发展最热门的先进制造技术之一,它和文化创意产业结合产生的3D打印文化创意产品的设计制造集成装备技术是先进数字制造的一个重要发展方向。众所周知,文化创意产品通常具有曲面表面和彩色外观,呈现单件、小批量、形状复杂多变等特点,设计难度大,存在难于制造、表面上色难等诸多问题,成本昂贵。而基于现代设计方法的正向、逆向设计及3D打印技术则是制造文化创意产品的有效手段,尤其是后处理中的立体彩色打印创意产品复杂曲面更是体现当代科技融合体模型中最新的高“维度”,符合数字印刷和印刷数字化的发展趋势,符合建立文化大发展和大繁荣的国家战略。

本书的出版得到了北京市教育委员会重大科技计划项目“基于3D打印的创意产品表面彩色化精确运动控制研究”的支持和资助,是课题组在经过对三维曲面表面彩色喷绘技术的研究工作不断发展和经验积累的基础上,针对三维曲面表面彩色化中存在的一些突出问题和技术难题,提出的具体解决方案,可以较好地解决曲面的彩色喷绘技术难题。主要内容如下。

1. 三维喷绘系统的总体设计。明确系统的设计需求及工作原理,比较各运动形式的优缺点,根据系统的整体需求选用合适的运动形式,然后对具体的运动方案进行了设计。选择了适用于三维喷绘的喷墨方式、喷墨头和墨水。

2. 喷墨系统的设计研究。根据选定的喷墨技术设计供墨系统、喷墨装置,对负压系统和喷墨控制系统进行研究。搭建试验平台,进行各个系统的安装调试。利用搭建好的试验平台进行喷墨试验验证,实现了对喷墨系统各子系统的有效控制。

3. 以多轴运动控制器 Turbo PMAC Clipper 为控制系统的核心, 通过对 PMAC 运动控制器通信的建立和功能扩展来实现运动控制与喷墨控制的同步运行。通过对 PMAC 硬件结构的分析和软件系统的搭建, 实现曲面喷墨的运动控制。通过对软件系统功能模块的分析以及关键技术的研究, 解决了曲面喷墨过程中面临的问题。

4. 空间曲线精确运动控制技术研究。通过控制喷头、承印物作空间直线或曲线运动, 解决了喷墨距离发生变化, 喷墨距离增大, 墨滴飞行的发散行为使得墨滴沉积精度降低的问题, 有效地提高了曲面喷墨打印质量。通过承印物空间运动轨迹的规划、生成及优化技术研究, 精确控制承印物空间运动轨迹与喷墨距离, 提高了复杂曲面喷墨印刷质量。

5. 喷头的空间运动轨迹和喷墨信号驱动的协同控制。通过精确控制喷墨头沿空间曲线运动轨迹, 实现了喷墨信息位置点按需喷墨, 解决了 CMYK 模型信息的传输和控制问题。通过喷墨系统控制墨滴的生成和开关, 形成了表面上的颜色信息。

6. 立体喷印创意产品参数优化研究。在 3D 打印曲面创意产品喷墨印刷技术中, 喷墨距离、墨量、样张实地密度等工艺参数综合影响曲面喷墨打印质量。因此, 在精确控制承印物空间运动曲线的基础上, 建立了印刷质量与多参数影响因子之间的优化设计方法, 实现了高质量 3D 彩色打印创意产品表面的试验验证。

7. 对墨滴视觉检测的关键技术进行了研究。主要包括基于背景减除的运动目标检测算法的研究、墨滴视觉检测系统的设计, 并且提出一种背景减除与图像分割技术相融合的算法, 设计图形化界面。

在本书的写作过程中, 课题组蒋小珊副教授、肖军杰副教授和张睿副教授及文伟力博士、马添翼博士做了大量的研究工作, 并对本书的撰写给予了大力的支持, 刘烨、翟乃军、刘忠俊、张森等硕士生做了大量的研究工作, 在此深表谢意。书中部分引用了国内外专家、学者的观点, 在此一并声明。由于作者学术水平的限制, 如一些学术观点有不妥之处, 恳请专家、学者指正。本书难免有不妥和不足, 请广大读者批评指正。

程光耀

2018 年 4 月

第一章 绪论	001
1.1 研究的背景及意义	001
1.2 国内外研究现状	002
1.2.1 三维曲面喷绘技术研究现状	003
1.2.2 喷墨印刷技术发展现状	005
1.2.3 墨滴视觉检测系统研究现状	013
1.3 问题的提出	014
1.4 主要研究内容	014
第二章 三维喷绘系统总体结构	017
2.1 三维喷绘系统功能分析	017
2.1.1 系统运动需求分析	017
2.1.2 系统喷墨技术需求分析	017
2.2 三维喷绘系统整体方案设计	018
2.2.1 运动形式的确定	019
2.2.2 运动方案的设计	019
2.2.3 三维喷绘喷墨方式选择	022
2.2.4 喷墨头选型	022
2.2.5 喷绘墨水选择	023
2.3 本章小结	023
第三章 面向曲面喷墨运动控制系统的设计	024
3.1 喷墨系统运动设计	024
3.2 运动控制系统设计	025
3.3 控制方案的选择	027
3.4 控制系统的结构与功能	028
3.5 本章小结	029

第四章 基于 PMAC 多轴运动控制系统硬件的实现	030
4.1 运动控制系统硬件构架	030
4.2 控制器硬件的连接	031
4.2.1 控制卡的安装与设置	031
4.2.2 接线端子 DTC-8B	035
4.2.3 数字量 I/O 扩展卡 ACC-34AT	037
4.3 PMAC 的 I/O 扩展	037
4.4 步进电机的控制	039
4.5 变量的设置	041
4.6 本章小结	042
第五章 基于 PMAC 运动控制系统软件开发	043
5.1 控制系统软件构架	043
5.1.1 PMAC 控制机理	043
5.1.2 通信的建立	044
5.2 软件设计	045
5.3 运动程序实现	046
5.4 本章小结	047
第六章 基于 USB 运动控制系统研究	048
6.1 运动控制系统硬件的实现	048
6.1.1 控制卡与外围设备的连接	048
6.1.2 伺服电机系统	051
6.2 控制系统的软件实现	052
6.2.1 软件操作界面	052
6.2.2 参数设置	055
6.3 指数加减速控制研究	057
6.4 本章小结	060
第七章 喷墨系统研究与设计	061
7.1 供墨系统的设计	061
7.2 喷墨装置的设计	063
7.3 负压系统的研究	064
7.4 喷墨控制系统设计	066

7.4.1	喷墨控制系统主板	066
7.4.2	喷头驱动板	067
7.5	喷墨试验验证	068
7.5.1	试验平台	068
7.5.2	试验过程	070
7.6	本章小结	073
第八章	压电喷射机理研究	074
8.1	喷墨墨水喷印适性分析	074
8.1.1	表面张力	074
8.1.2	黏度	075
8.1.3	电导率	075
8.1.4	pH 值	075
8.2	压电喷射理论基础	076
8.2.1	压电式喷头组成及工作原理	076
8.2.2	压电制动器驱动原理及性能分析	076
8.2.3	压电式喷头波传导理论	076
8.3	墨滴成形过程分析	078
8.4	本章小结	079
第九章	压电喷墨过程数值模拟分析	080
9.1	有限体积数值解法及 SIMPLE 算法	080
9.1.1	有限体积法 (FVM)	080
9.1.2	SIMPLE 算法	080
9.2	压电喷墨过程数学模型	081
9.2.1	喷墨过程控制方程	081
9.2.2	控制方程的离散	082
9.2.3	边界条件	084
9.3	压电喷墨过程物理模型	084
9.4	喷射过程数值模拟	085
9.4.1	模拟方案	085
9.4.2	网格划分	086
9.4.3	设置边界条件	087
9.4.4	模拟结果及分析	088

9.5 本章小结	092
第十章 压电喷墨供墨系统设计	093
10.1 负压系统研究	093
10.2 供墨系统墨路设计	094
10.2.1 供墨系统管路方案	094
10.2.2 组成部件分析设计	094
10.3 控制系统设计	098
10.4 模糊 PID 控制算法设计	099
10.5 温度控制	104
10.5.1 温度检测设计	104
10.5.2 温度控制设计	104
10.5.3 模糊 PID 的实现	105
10.6 液位控制	107
10.7 本章小结	108
第十一章 墨滴视觉检测原理及技术	109
11.1 喷墨打印技术	109
11.1.1 连续喷墨打印	109
11.1.2 按需喷墨打印	110
11.2 墨滴视觉检测关键技术	112
11.2.1 墨滴图像采集	113
11.2.2 墨滴轮廓提取	113
11.3 硬件实现	114
11.4 图像获取	116
11.5 运动目标检测算法	118
11.6 本章小结	119
第十二章 基于背景减除的运动目标检测算法	120
12.1 均值滤波法	120
12.2 W4 模型	121
12.3 码书模型	121
12.4 均值替换法	121
12.5 内核密度估计法	122
12.6 单高斯模型	124
12.7 混合高斯模型	124

12.8	几种算法分析	126
12.9	本章小结	127
第十三章	墨滴视觉检测	128
13.1	预处理	128
13.1.1	图像灰度映射	128
13.1.2	直方图均衡化	129
13.1.3	噪声类型	130
13.1.4	去噪类型	132
13.2	背景差分法	139
13.3	后处理	140
13.3.1	图像膨胀	140
13.3.2	图像腐蚀	141
13.3.3	开运算	141
13.3.4	闭运算	141
13.3.5	形态学重建	142
13.4	本章小结	142
第十四章	图像分割技术	143
14.1	边缘分割技术	143
14.1.1	微分算子	144
14.1.2	Canny 算子	146
14.1.3	Laplacian 算子	146
14.1.4	LOG 算子	147
14.2	阈值分割技术	148
14.2.1	实验法	149
14.2.2	直方图阈值法	149
14.2.3	迭代法	150
14.2.4	最小均方误差法	151
14.2.5	最大类间方差法	152
14.2.6	分水岭法	153
14.3	区域分割技术	155
14.3.1	区域生长	155
14.3.2	区域分裂与合并	155
14.4	背景减除结果与图像分割目标融合	156
14.5	墨滴参数计算	157

14.5.1 尺度比例	158
14.5.2 墨滴速度	158
14.5.3 墨滴体积	158
14.6 图形界面设计	159
14.7 本章小结	160
第十五章 系统调试及试验	161
15.1 试验目的	161
15.2 试验方案	161
15.2.1 三维喷墨平台介绍	164
15.2.2 操作过程	165
15.3 试验结果与分析	166
15.4 本章小结	166
第十六章 结论与展望	167
16.1 结论	167
16.2 展望	168
参考文献	169

绪 论

1.1 研究的背景及意义

近年来,随着国家文化产业大发展、大繁荣战略的实施,《中国制造 2025》《互联网+》等国家战略的发布与大力推进,使得智能制造、机器人技术及新一代信息技术等成为研究的热点,并得到了工业界尤其是制造业的广泛关注与积极响应。作为文化产业重要组成部分的印刷业及印刷包装装备制造业也得到了发展壮大,并逐步形成了以智能制造、信息网络技术为主要内容的具有国际竞争力的产业经济体系。印刷业作为提升商品品质的加工服务业,与人们的日常生活息息相关,其产品被广泛地用于国民经济的各大领域。到 2020 年,全球大约 50% 的印刷品,要在数字印刷机上进行生产,可变数据印刷将成为行业主驱动力。“十二五”期间,我国印刷业总产值由 8677.1 亿元增长到 11246.2 亿元,年平均增长率为 7.9%,整体规模居全球第二位。到“十三五”末期,印刷业总产值超过 1.4 万亿元,位居世界前列,数字印刷的年复合增长率超过 30%。数字印刷作为喷墨印刷的一个分支,因其具有低成本、高环保等优势,被业界广泛认可。喷墨印刷作为全球印刷业发展的焦点,平均复合增长率将保持在 10.3% 左右。

传统印刷必须使用印版,静电照相数字印刷必须使用光导体,而喷墨印刷是最彻底的直接印刷技术。墨滴从喷墨打印头直接喷射到承印物表面,直接在承印物表面完成成像,不需借助中间媒介,具有适应性广、高速智能化、易控制、低要求等优点,是一种无接触、无压力、无印版的打印技术。压电喷墨技术是喷墨印刷技术的主流技术之一,因其具有低成本、高效、耐用等优点而被广泛应用。喷墨墨滴成形的大小、形状、速度及墨滴在空气域飞行轨迹的稳定性、墨滴的拖尾现象、卫星墨滴的控制等因素,直接影响印刷质量。因此,墨滴作为图像复制过程中的关键单元,其成形过程的稳定性具有重要研究意义。

随着现代制造技术的快速发展,我国在喷墨印刷方面取得了长足进步,但与国际先进水平相比还存在较大差距。尤其是作为喷墨印刷技术中的核心技术的喷墨打印头技术,其生产制造基本上被国外垄断。目前,我国没有自主知识产权的喷墨打印头技术,消化吸收再创新的任务还很艰巨。喷墨打印头作为喷墨打印设备中的高端部分,其研究成本投入很大,研究周期长,多数喷头生产商对其产品都有指定墨水型号,需要专用供墨系统来提供大量墨水。

墨水经油墨泵、墨水管道进入喷墨打印头，喷墨打印头接收电压脉冲信号产生特定的压电特性，将墨水从喷嘴中挤出，墨水特性对印刷质量有着重要的影响。墨水的黏度、表面张力等通过供墨系统与喷墨打印头所接收的脉冲信号及产生的压电特性相配合，才能达到预期的印刷效果。积极研发具有我国自主知识产权的喷墨打印设备，突破压电式喷印头共性和核心技术。为了确保印刷的质量，喷墨印刷系统是否能够及时地给喷墨头提供理想状态的油墨非常重要。

随着人民群众对文化产品的需求日益增加，文化创意产业已经上升到国家发展战略的高度。为实现创意产品的表面彩色化，近年来，三维立体喷绘技术受到广泛关注，成为研究热点之一。目前，三维立体喷绘研究还处于初级阶段，诸多技术难题尚待解决。印刷是文化创意产业的重要组成部分，数字印刷和印刷数字化是提高印刷业自主创新能力的重要手段。3D 打印文化创意产品的制造技术是数字化制造与智能制造的一个重要发展方向。

创意产品具有单件、小批量、形状复杂多变、表面上色困难等问题，制造、印刷难度极高，成本昂贵。3D 打印技术是制造文化创意产品的有效手段，3D 彩色打印创意产品复杂曲面更是体现当代科技融合体模型中最新的高“维度”。三维喷绘装备、工艺等关键技术基本上被国外公司所垄断，国内积极开展低成本创意产品表面彩色化装备及工艺技术研究具有重要的现实意义。

为解决以上问题，课题组于 2014 年成功申请了北京市教育委员会重大科技计划项目“基于 3D 打印的创意产品表面彩色化精确运动控制研究”。在此基础上，对三维喷绘系统的运动及喷墨控制进行了系统的研究，为文化创意产品由最初创意灵感感到创作设计乃至最终产品成形提供一体化快速实现方法。

研究成果可用于 3D 打印产品，例如工业设计产品、文化创意产品、艺术品等表面个性化图案打印，可降低文化创意产品生产成本，有利于推动 3D 打印技术在文化创意产业的广泛应用，促进新型三维高附加值文化创意产品的市场发展与繁荣。研究成果可用于文化艺术衍生品、饮料瓶、酒瓶、包装盒等快消品的表面可变信息（如文字、条码、数据、批次、价格和重量等）打印，具有巨大的市场前景。

本研究是数字印刷与时俱进发展的结果，可以促进人们由传统印刷向数字印刷行业发展；通过采用绿色环保材料，可达到保护自然资源的目标，属于一项环境友好型科学技术，将会创造较高的社会效益。

1.2 国内外研究现状

随着喷墨印刷技术的发展，数字化平面喷绘被应用于家庭装饰、服装印染和文化产业等相关领域，由于具有效果生动、画面逼真、操作控制简单等优势，二维平面喷绘技术得到了广泛应用。作为数字印刷的两大主流技术之一的喷墨印刷，相对于传统印刷，喷墨印刷因可实现按需印刷、异地印刷、个性化印刷、大幅面印刷，并具有非接触、无印版、可变数据等特点，该技术受到越来越广泛的关注。

目前,平面喷绘理论和技术已得到广泛的应用,不同设备的兼容性也随着市场的国际化不断增强。随着人们文化生活水平的提高,对创意产品的需求量不断增加,使得传统的平面印刷已无法满足人们的需求,而3D打印技术的出现则促使文化创意产业焕发了新的生机,国内外对3D打印文化创意产品表面喷绘技术已取得了可喜的成果。

1.2.1 三维曲面喷绘技术研究现状

1. 国外方面

日本的 Mimaki Engineering 和长野工业学校研发出了一种三维打印机。该打印机采用了4个不同颜色的喷头做直线扫描运动,运动平台通过二维平面运动和互相垂直的旋转运动组合形式来实现在球面或圆柱物体上的表面喷绘。承印物的运动如图1-1所示。

法国普瓦捷大学的 Gazeau 等人研究出了一种五自由度的喷绘系统,通过对五自由度的运动学研究,将喷绘从简单的水平面扩展到了竖直面或倾斜面,能够在拖车篷布等垂直或倾斜的大型平面上喷绘图案,如图1-2所示。

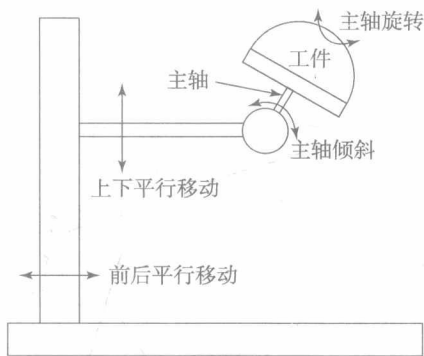
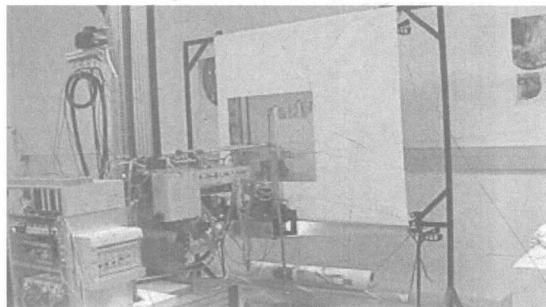
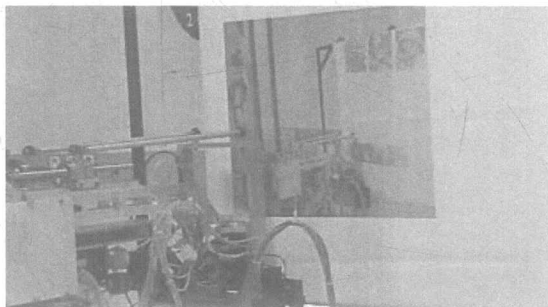


图 1-1 承印物的运动



(a) 设备



(b) 垂直喷绘图案

图 1-2 五自由度垂直喷绘机器人及其喷绘图案

美国的 STM 公司开发出了制作彩色地理模型的系统,系统可以进行地理模型的雕刻以及表面上色,提供三维地理信息及其表面颜色信息;该系统主要应用于军事沙盘和地理模型,系统的上色模型如图1-3所示。海德堡展出了最新的捷霸4D打印机,4个工位呈转盘式分布,承印物通过真空吸盘固定,整个喷墨打印过程有4个工序:除尘、电晕、喷墨、干燥,可以实现小曲率曲面的即时印刷。设备及喷墨印品如图1-4所示。

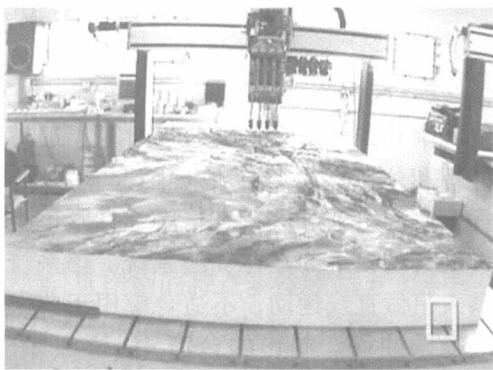
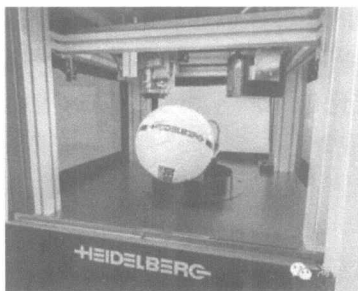
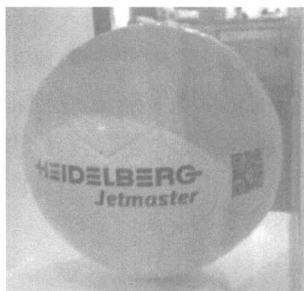


图 1-3 STM 公司的立体喷绘设备



(a) 设备



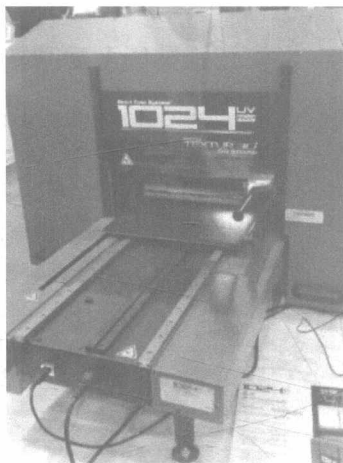
(b) 单色喷印



(c) 多色彩印

图 1-4 海德堡 4D 打印及产品

美国 DCS 公司开发出了圆柱体 3D 浮雕效果 UV 喷墨打印机，能够实现 360°圆柱体表面印刷，承印物种类多，可以一次性完成多个颜色的组合喷墨，最大承印尺寸为 330mm × 650mm；承印物随两个辊子做旋转运动，喷头做往复直线运动，从而实现喷头在承印物表面不同位置的喷墨，位于喷墨头左右两端的 UV LED 灯进行同步干燥。设备及产品如图 1-5 所示。



(a) DCS 公司的设备



(b) 产品

图 1-5 DCS 公司的彩色喷墨机和产品

2. 国内方面

南开大学研究人员通过对卫星遥感数据的处理和分析，得到了地理信息的实景模型数据，研制出了可进行高精度、真彩色实景地理模型自动喷绘的立体喷绘系统。该系统中，机器人只做直线运动，不适合应用于曲率变化大的复杂曲面。制作的台湾 3D 模型如图 1-6 所示。

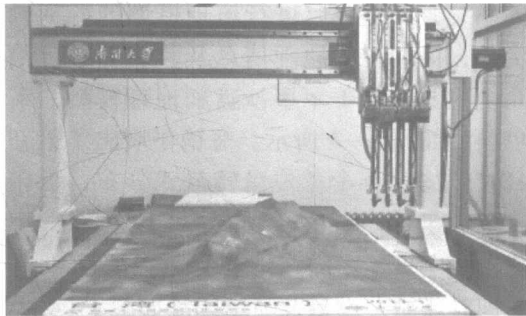


图 1-6 台湾 3D 模型展示图

浙江大学周昆教授的团队通过计算机图形学和计算机视觉技术,将三维设计图“降维”为二维“展开图”。通过对水转印薄膜的形变进行物理建模,得到三维设计图与二维平面水转印薄膜上每一个点的映射关系。研究团队利用普通喷墨打印机将二维展开图打印到水转印薄膜上,然后把薄膜铺在水面上,让薄膜在水中包裹住 3D 模型并着色。浙江大学的水转印技术路线如图 1-7 所示。着色过程如图 1-8 所示。

北京印刷学院程光耀教授的团队研究出一种全新曲面喷墨印刷技术。喷墨过程中喷头保持静止不动,采用多轴联动控制技术控制承印物做空间曲线运动。采用常规喷头和毛细喷头分别进行常规曲面和复杂曲面 CMYK 四色喷墨打印,从而实现曲面彩色喷墨印刷,如图 1-9 所示。

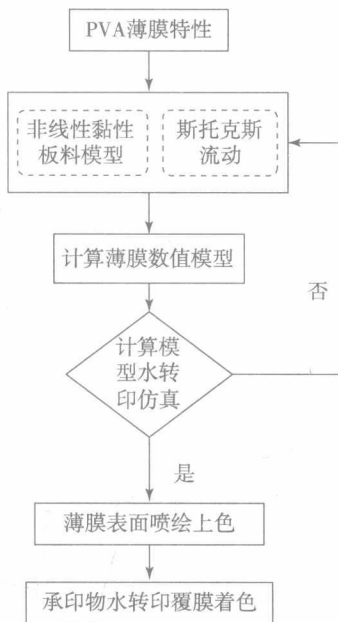
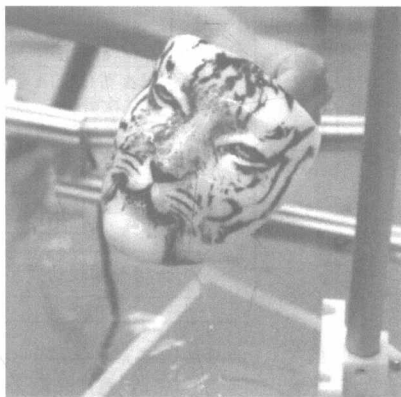


图 1-7 水转印技术路线图



(a) 着色前



(b) 着色后

图 1-8 浙大水转印前后印品

1.2.2 喷墨印刷技术发展现状

1. 喷墨印刷技术概述

喷墨印刷技术是通过计算机将图文信息转换为脉冲电信号传递给喷墨设备,计算相应通道墨量,控制墨水喷射到承印物特定表面位置,通过其相互作用在承印物表面再现图文信息的一种印刷技术,具有无印版、无压力、非接触、可变信息印刷的特点。按喷墨方式不同,喷墨印刷技术可分为连续喷墨技术(CIJ)和按需喷墨技术(DOD)两大类。连续喷墨技术是指墨滴驱动装置以 50~100kHz 的高频将墨水以 65000~165000 滴/秒的速度从喷嘴连续不断地喷射出,经过充电电极和偏转电场的作用,选择性地达到承印物表面形成图文信息或进

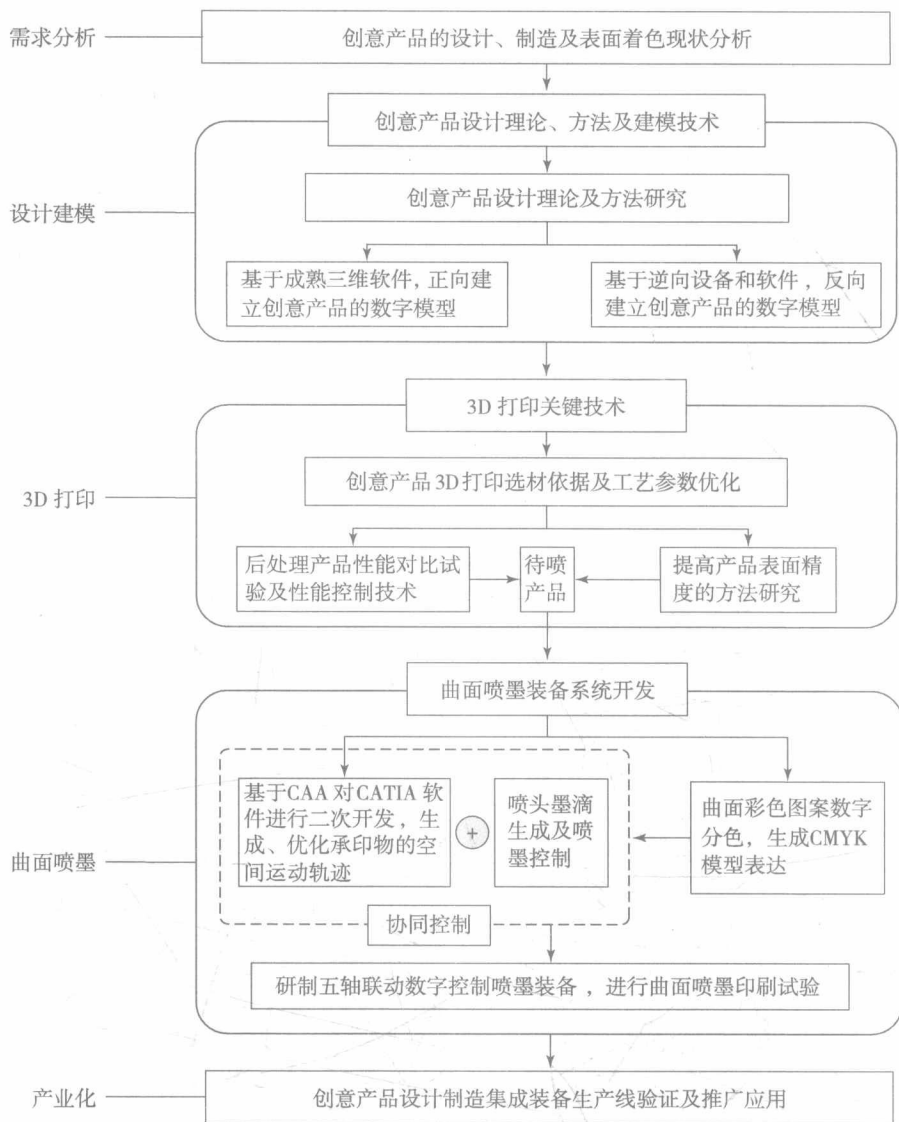


图 1-9 曲面彩色印刷原理图

入墨水回收装置循环使用, 其工作原理如图 1-10 所示。由于此喷墨印刷技术流体处理系统复杂, 频率响应高, 故多被用于高速低精度的场合。按需喷墨技术是根据图文信息的实际需要, 通过驱动器对压电陶瓷的作用, 使喷头内部形变产生压力波将墨滴以一定速度喷射出去的打印技术, 其工作原理如图 1-11 所示。由于其无须充电电极、偏转电场和墨水回收装置, 避免了系统的复杂性和不可靠性, 是当前喷墨印刷的主流。

根据墨滴充电状态的不同, 连续喷墨技术可以分为二值偏转式和多值偏转式两类, 而按需喷墨技术可根据驱动方式的不同分为热气泡喷墨技术、压电喷墨技术、静电喷墨技术和超声波喷墨技术四大类, 其中后两类技术目前还不太成熟, 尚处于发展阶段。喷墨打印技术分类如图 1-12 所示。